

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПИНОДАЛЬНОГО РАСПАДА В МЕТЕОРИТЕ СЕЙМЧАН

Конев Е. В., Яковлев Г. А.

Руководитель – профессор, к.т.н. Гроховский В. И.

ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г.

Екатеринбург

jeka_bru@list.ru

В данной работе рассматривается структура зоны облачного тэнита метеорита Сеймчан, сформированная в результате спинодального распада во время охлаждения со скоростью порядка 1-10 °С/млн. лет. Сравниваются различные методы определения параметров этой структуры.

Металлические фазы присутствуют в большинстве типов метеоритов. В результате термических и ударных процессов, происходящих в родительских телах метеоритов, в этих фазах формируются различные структуры, которые выявляются металлографическими методами

Основные закономерности фазовых превращений во время охлаждения Fe-Ni сплавов описываются с помощью уточненной двойной фазовой диаграммы равновесия Fe-Ni [1]. Участок под заштрихованной кривой (рис.1) является областью спинодального распада.

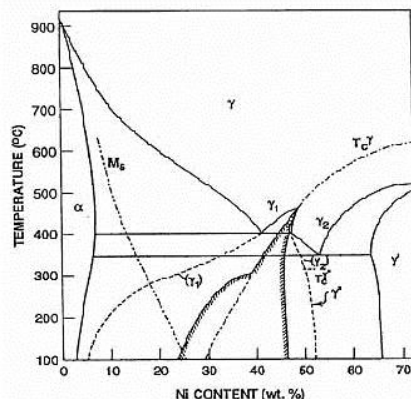


Рисунок 1. Двойная фазовая диаграмма равновесия Fe-Ni [1]

При медленном охлаждении порядка 1-10 °С/млн. лет ниже спинодали будет формироваться структура, называемая «облачным тэнитом» [2]. Она состоит из высоконикелевых округлых островов тетратэнита FeNi в сотовой оболочке камасита α-Fe(Ni) [3]. В железных, железокаменных и каменных метеоритах структура спинодального распада образуется в процессе охлаждения в зоне М-профиля (градиент распределения Ni в пределах одного зерна) в диапазоне от 30 до 42 вес.% Ni.

Детальное исследование данной области позволяет оценить скорость охлаждения металла и изучить процессы, ведущие к образованию наблюдаемых наноструктур. Основываясь на измерениях средних размеров

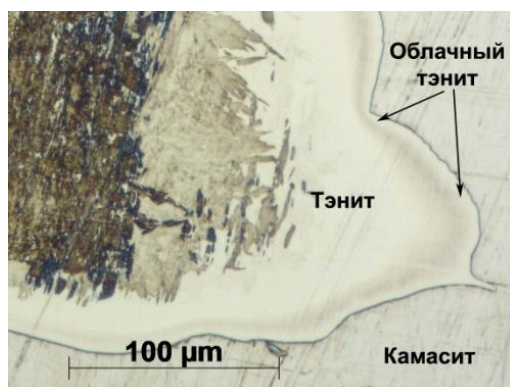
частиц в зоне облачного тэнита, Янг с коллегами [2] предложили новый метод определения скоростей охлаждения. Ими же была построена зависимость среднего размера частиц от металлографической скорости охлаждения для различных типов железных и железокатенных метеоритов. Исследования были продолжены в работе [4]. Для всех метеоритов характерно увеличение размеров частиц в облачной зоне при уменьшении скорости охлаждения.

Стоит отметить, что во всех вышеперечисленных работах определялся средний размер частиц, которые располагаются вблизи границы зоны облачного тэнита с тетракатенитом. Однако размер частиц уменьшается с увеличением расстояния от этой границы, что не учитывалось авторами. Кроме того, спинодальный распад рассматривается как волновой процесс [5], поскольку расслоение одной фазы на две новые протекает по всему объему одновременно без образования зародышей. Поэтому при оценке скорости охлаждения, желательно определять не размер частицы, а межчастичное расстояние, т.е. волновую характеристику процесса.

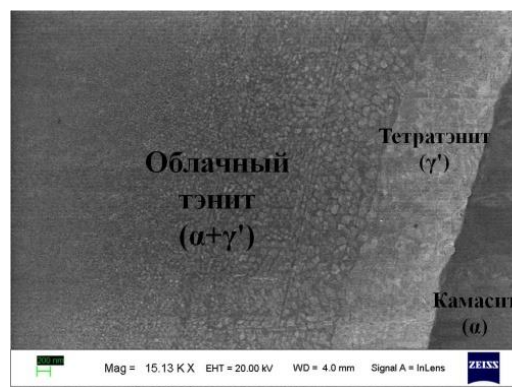
В настоящей работе исследовался образец из фрагмента метеорита Сеймчан (тип Iron IE-Om). Поверхность образца после распила была подготовлена по стандартной металлографической методике для исследований с помощью оптической и растровой электронной микроскопии. На рис. 2а представлена структура травленого образца метеорита Сеймчан. Снимок сделан с помощью оптического микроскопа ZEISS Axiovert 40 MAT. Изображение с более высоким разрешением (рис. 2б) получено на растровом электронном микроскопе ZEISS SIGMA VP

Для определения размеров частиц и измерения межчастичного расстояния зона облачного тэнита была условно разделена на 3 участка, начиная от границы с тетракатенитом (рис. 3а).

Такое деление обусловлено предельным размером зонда при микрорентгеноспектральном анализе, диаметр которого составляет около 1 мкм. Среднее межчастичное расстояние на каждом участке определялось делением линии, проведенной в центральной части на количество частиц, пересекаемых ею. Для определения среднего размера частиц в каждой части было произведено 50 измерений, и затем значение усреднялось. Все измерения выполнены в программе Компас-3D. Локальный химический анализ определялся с помощью приставки EDS в трех точках зона облачного тэнита, удаленных на разное расстояние от границы с тетракатенитом.



(а)



(б)

Рисунок 2. Положение зоны облачного тэнита в метеорите Сеймчан: а) оптическое изображение травленого шлифа; б) электронное изображение нетравленной поверхности.

Результаты измерений представлены на рис. 3б. Концентрация никеля варьируется от 35 до 41 вес.%, погрешность прибора составляет $\pm 0,32$ вес. %. Средний размер частиц колеблется от 40 до 120 нм. С понижением концентрации Ni, размер межчастичного расстояния и средний размер частиц уменьшается.

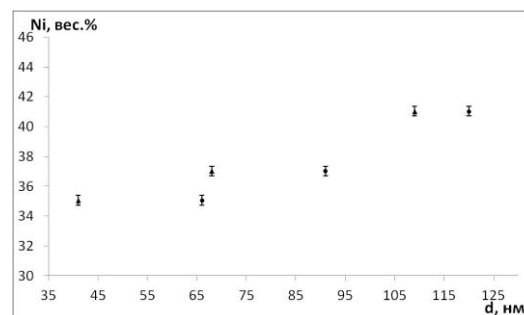
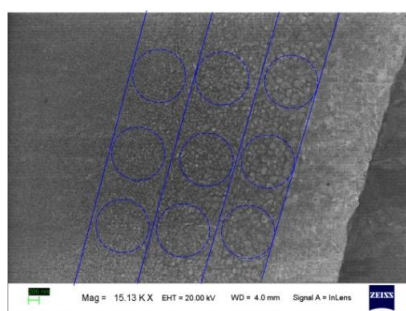


Рисунок 3. а) схема измерений в метеорите Сеймчан; б) сравнение результатов различных методик для определения параметров структуры в "облачном тэните" метеорита Сеймчан: - среднее межчастичное расстояние; - средний размер частиц

Как видно из графика, средний размер частиц не равен межчастичному расстоянию, разница составляет порядка 10 нм в области с высоким содержанием Ni, близкой к границе с тетратэнитом, и около 20 нм в области с низким содержанием Ni. Таким образом, при использовании такого параметра как межчастичное расстояния для характеристики спинодального распада в системе Fe-Ni значения металлографических скоростей охлаждения, полученные с применением стандартного метода измерения среднего размера частиц в облачной зоне [2, 4], будут отличаться.

Дальнейшие исследования продуктов спинодального распада позволят улучшить методы оценки металлографических скоростей охлаждения и более точно датировать термическую историю метеоритов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Yang C.-W., Williams, D.B., Goldstein, J.I. A revision of the Fe–Ni phase diagram at low temperature // *J. Phase Equil.* 1996. B17. P. 522–531.
2. Yang, C.-W., Williams, D.B., Goldstein, J.I. A new empirical cooling rate indicator for meteorites based on the size of the cloudy zone of the metallic phases // *Meteoritics*. 1997. B.32 P. 423–429.
3. Гроховский В. И., Жиганова Е. В., Глазкова С. А., Волосникова А. С., Солодовских М. А. Морфологические разновидности плессита в метеоритах // *Вестник УГТУ-УПИ №5 (35) Современные технологии: проблемы и решения: Сборник научных трудов: В 2ч. Екатеринбург: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ. 2004. Ч.2.263 с.*
4. Scott E. R.D., Krot T. V., Goldstein J. I., Wakita S. Thermal and impact history of the H chondrite parent asteroid during metamorphism: Constraints from metallic Fe–Ni // *Geochim. Cosmochim.* 2014. Acta136, P. 13–37.
5. Уманский Я. С., Скаков Ю. А. Физика металлов, Атомное строение металлов и сплавов: Учебник для ВУЗов. М.: Атомиздат, 1978. 352 с.